

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-24223

(P2001-24223A)

(43)公開日 平成13年1月26日 (2001.1.26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

キーワード(参考)

C 5 F 0 4 1

E

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 6 頁)

(21)出願番号

特願平11-195657

(22)出願日

平成11年7月9日(1999.7.9)

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 森田 大介

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA14 AA40 CA04 CA05

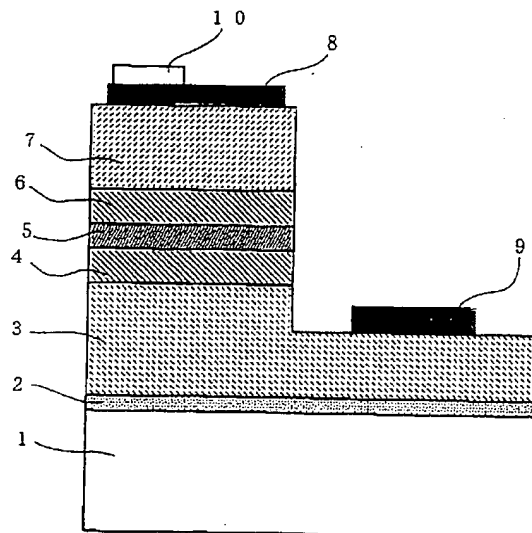
CA34 CA40 CA57 CA65 CA74

(54)【発明の名称】 窒化物半導体発光ダイオード

(57)【要約】

【課題】 オーミック接触の低下やクラックの発生を考慮しつつ、自己吸収を防止して光取り出し効率を向上させ、発光ピーク波長が370nm以下の発光出力の良好な窒化物半導体素子を提供することである。

【解決手段】 活性層が、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、n電極と接するn型コンタクト層が、 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 0.1$ ) を含んでなり、p電極と接するp型コンタクト層が、 $Al_bGa_{1-b}N$  ( $0 < b < 0.1$ ) を含んでなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、少なくともn型窒化物半導体層、活性層、及びp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

活性層が、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、

n型窒化物半導体層として、n電極と接するn型コンタクト層が、 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 0.1$ ) を含んでなり、

p型窒化物半導体層として、p電極と接するp型コンタクト層が、 $Al_bGa_{1-b}N$  ( $0 < b < 0.1$ ) を含んでなることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記p型コンタクト層が、p型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記n型コンタクト層が、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記活性層とn型コンタクト層との間に、 $Al_eGa_{1-e}N$  ( $0 < e < 0.3$ ) を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、 $Al_dGa_{1-d}N$  ( $0 < d < 0.4$ ) を含んでなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサーなどの発光素子、受光素子に使用される窒化物半導体素子 ( $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) に関し、特に、発光ピーク波長が370nm以下の紫外領域に発光する窒化物半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、紫外LEDが実用可能となっている。例えば、応用物理、第68巻、第2号(1999)、p152～p155には、サファイア基板上に、GaNバッファ層、n型GaNコンタクト層、n型AlGaNクラッド層、アンドープInGaNの活性層(In組成はほとんどゼロ)、p型AlGaNクラッド層、p型GaNコンタクト層が積層されてなる窒化物半導体素子が記載されている。そして、この紫外LEDは、一定条件下で、発光ピークが371nmの場合には発光出力が5mWであるのに対して、発光波長をこれより短波長にしたときにはn型及びp型コンタクト層がGaNであるために自己吸収がおこり、発光出力が急激に低くなることが記載されている。更に、この発光出力の低下を防止し、発振波長の短波長化を可能とするためには、n型及びp型コンタクト層を、AlGaNとすることで自己吸収を防止できることが示唆されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、単に、自己吸収を十分に防止できる程度に、コンタクト層をAlを含むAlGaNで成長させると、電極とのオーミック接触が得られ難くなる。更に、クラッド層は、活性層のキャリアを閉じ込めるためにAlを含んでなるAlGaNからなるため、Alを含むp型クラッド層上にAlを含むp型コンタクト層を成長させると、又は、Alを含むn型コンタクト層上にAlを含むn型クラッド層を成長させると、n型クラッド層やp型コンタクト層にクラックが入り易い傾向がある。このように、従来のGaNからなるn及びp型コンタクト層を、AlGaNとして成長させると、コンタクト層での自己吸収を防止することができるものの、上記のようにオーミック接触の低下やクラックの発生などで発光出力を十分に向上させにくい。

【0004】 そこで、本発明の目的は、オーミック接触の低下やクラックの発生を考慮しつつ、自己吸収を防止して光取り出し効率を向上させ、発光ピーク波長が370nm以下の発光出力の良好な窒化物半導体素子を提供することである。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】 即ち、本発明は、下記(1)～(4)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) 基板上に、少なくともn型窒化物半導体層、活性層、及びp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、活性層が、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、n型窒化物半導体層として、n電極と接するn型コンタクト層が、 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 < a < 0.1$ ) を含んでなり、p型窒化物半導体層として、p電極と接するp型コンタクト層が、 $Al_bGa_{1-b}N$  ( $0 < b < 0.1$ ) を含んでなることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記p型コンタクト層が、p型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記n型コンタクト層が、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体素子。

(4) 前記活性層とn型コンタクト層との間に、 $Al_eGa_{1-e}N$  ( $0 < e < 0.3$ ) を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、 $Al_dGa_{1-d}N$  ( $0 < d < 0.4$ ) を含んでなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする前記(1)～(3)のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【0006】 つまり、本発明は、n型及びp型コンタクト層を、特定のAl組成比を有するAlGaNとすることにより、良好なオーミック接触及びクラック発生の防

止と共に、コンタクト層での自己吸収を防止でき、発光ピーク波長が370nm以下の発光出力の良好な窒化物半導体素子を提供できる。本発明者は、自己吸収の防止と共に、オーミック接触やクラック発生の防止も考慮して種々検討の結果、コンタクト層をAlGa<sub>1-x</sub>Nとし、且つ、特定のAl組成比とすることで、オーミック接触やクラック発生の防止と共に、自己吸収を防止でき、発光出力を向上させることを達成している。また、発光ピーク波長が370nmより長波長であっても、370nm以下の発光もあるので、コンタクト層をAlGa<sub>1-x</sub>Nとすると自己吸収を防止でき、発光出力の向上が可能となる。しかし、発光ピーク波長が370nm以下の場合には、n型及びp型コンタクト層を上記のように特定のAl組成比のAlGa<sub>1-x</sub>Nとすると、より顕著な効果を得ることができる。

【0007】更に、本発明は、Alを含んでなるp型コンタクト層が、p型不純物濃度が、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ であると、オーミック接触を維持しつつ、発光出力を向上させる点で好ましい。このように、前記p型コンタクト層のAl組成比と、p型不純物濃度とを特定して組み合わせると、オーミック接触及びクラック防止、発光出力の向上の点でより好ましい。

【0008】更に、本発明は、Alを含んでなるn型コンタクト層が、n型不純物濃度が、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、であると、オーミック接触を維持し、発光出力を向上させる点で好ましい。このように、n型コンタクト層のAl組成比と、n型不純物濃度とを特定して組み合わせると、p型コンタクト層の場合と同様に、オーミック接触及びクラック防止、発光出力の向上の点で好ましい。

【0009】更に、本発明は、前記活性層とn型コンタクト層との間に、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.3$ )を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.4$ )を含んでなる第2の窒化物半導体層を有すると、活性層へのキャリアの閉じ込めを良好にでき、発光出力向上の点で好ましい。更に、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のそれぞれのAl組成比を上記範囲とし、前記のコンタクト層のAl組成比及び不純物濃度とを組み合わせると、クラック発生の防止、オーミック接触を良好にでき、発光出力の向上の点で好ましい。前記第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層は、クラッド層としての機能を有するので、本発明においては、以下、第1の窒化物半導体層をn型クラッド層、第2の窒化物半導体層をp型クラッド層とする。しかし、これに限定されるものではない。

【0010】

【発明の実施の形態】以下に、図1を用いて本発明を更

に詳細に説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の模式的断面図である。図1には、基板1上に、バッファ層2、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.1$ )を含んでなるn型コンタクト層3、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.3$ )を含んでなるn型クラッド層4、In<sub>f</sub>Ga<sub>1-f</sub>N ( $0 \leq f < 0.1$ )の活性層5、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.4$ )を含んでなるp型クラッド層6、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.1$ )を含んでなるp型コンタクト層7を積層成長させてなり、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体素子が記載されている。そして、n型コンタクト層3にはn電極が、p型コンタクト層7にはp電極がそれぞれ形成されている。まず、本発明のn型コンタクト層3及びp型コンタクト層7について記載する。

【0011】[n型コンタクト層3] 本発明において、n型コンタクト層3としては、少なくともAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.1$ 、好ましくは $0.01 < x < 0.05$ )を含んでなる窒化物半導体層である。Al組成比が上記範囲であると、自己吸収の防止と共に、結晶性とオーミック接触の点で好ましい。更に前記n型コンタクト層3は、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、オーミック接触の維持、クラック発生の防止、結晶性の維持の点で好ましい。このようにn型コンタクト層を構成するAl組成比とn型不純物濃度を組み合わせると、自己吸収を防止できると共に、オーミック接触やクラック防止の点で好ましい。n型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge等が挙げられ、好ましくはSiである。n型コンタクト層3の膜厚は、特に限定されないが、 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ が好ましく、より好ましくは $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。膜厚がこの範囲であると、界面付近(例えばn型クラッド層との界面付近)の結晶性(下地として)と抵抗率の低下の点で好ましい。

【0012】[p型コンタクト層7] 本発明において、p型コンタクト層7としては、少なくともAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N ( $0 < x < 0.1$ 、好ましくは $0.01 < x < 0.05$ )を含んでなる窒化物半導体層である。Al組成比が上記範囲であると、n型コンタクト層の場合と同様に自己吸収の防止と共に、結晶性とオーミック接触の点で好ましい。更に、前記p型コンタクト層7は、p型不純物を $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、オーミック接触、クラック発生の防止、結晶性、バルク抵抗の点で好ましい。このようにp型コンタクト層を構成するAl組成比とn型不純物濃度を組み合わせると、自己吸収を防止できると共に、オーミック接触やクラック防止の点で好ましい。p型不純物としては、特に限定されないが、例えば好ましくはMgが挙げられる。p型コンタクト層7の膜厚は、特に限定されないが、 $0.03$

～0.5 μmが好ましく、より好ましくは0.1～0.15 μmである。膜厚がこの範囲であると、理由は定かではないが、光の取り出し効率及び発光出力の点で好ましい。

【0013】上記のようにn型及びp型コンタクト層のAl組成比を特定すること、更にはAl組成比に加えて不純物濃度を特定して組み合わせると、発光出力の向上の点で好ましい。

【0014】更に、以下に素子を構成するその他の各層について説明する。

【基板1】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル(MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0015】【バッファ層2】本発明において、バッファ層2としては、Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N(但しgは0<g≤1の範囲である。)からなる窒化物半導体であり、好ましくはAlの割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。バッファ層2の膜厚は、0.002～0.5 μm、好ましくは0.005～0.2 μm、更に好ましくは0.01～0.02 μmの範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。バッファ層2の成長温度は、200～900℃であり、好ましくは400～800℃の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。また、このような低温で成長させるバッファ層2は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0016】【n型コンタクト層3】上記のn型不純物含有のAlGaNを含んでなる窒化物半導体である。

【0017】【n型クラッド層4】本発明において、n型クラッド層4としては、活性層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層5へのキャリアの閉じ込めが可能であれば特に限定されないが、好ましい組成としては、Al<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>N(0<x<0.3、好ましくは0.1<x<0.2)のものが挙げられる。n型クラッド層が、このようなAlGaNからなる、活性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。n型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは0.01～0.1 μmであり、より好ましくは0.03～0.06 μmである。n型クラッド層のn型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは1×10<sup>17</sup>～1×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup>であり、より好ましくは1×10<sup>18</sup>～1×10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>である。不純物濃度がこの範囲で

あると、抵抗率及び結晶性の点で好ましい。

【0018】n型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層(超格子構造を含む)とすることもできる。多層膜層の場合は、上記のAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Nと、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、In<sub>h</sub>Ga<sub>1-h</sub>N(0≤h<1)、Al<sub>j</sub>Ga<sub>1-j</sub>N(0≤j<1、e>j)が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは10～40オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。また、n型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方にn型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0019】【活性層5】本発明において、活性層5としては、発光ピーク波長が370nm以下となるような組成の窒化物半導体が挙げられる。好ましくはIn<sub>f</sub>Ga<sub>1-f</sub>N(0≤f<0.1)の窒化物半導体が挙げられる。活性層のIn組成比は、発光ピーク波長が短波長となるに従いIn組成比を小さくしていくが、In組成比はほとんどゼロに近くなる。活性層の膜厚としては、特に限定されないが、量子効果の得られる程度の膜厚が挙げられ、例えば好ましくは0.001～0.01 μmであり、より好ましくは0.003～0.007 μmである。膜厚が上記範囲であると発光出力の点で好ましい。また、活性層は、上記のような単一量子井戸構造の他に、上記In<sub>f</sub>Ga<sub>1-f</sub>Nを井戸層として、この井戸層よりバンドギャップエネルギーが大きい組成からなる障壁層とからなる多重量子井戸構造としてもよい。また、活性層には、不純物をドーピングしてもよい。

【0020】また、活性層のIn組成比の調整としては、発光ピーク波長が370nm以下となるIn組成比であれば特に限定されず、具体的な値としては、例えば下記の理論値の計算式から求められる値を近似的な値として挙げるることができる。しかし、実際に発光させて得られる波長は、量子井戸構造をとる量子準位が形成されるため、波長のエネルギー(Eλ)がInGaNのバンドギャップエネルギー(Eg)よりも大きくなり、計算式などから求められる発光波長より、短波長側へシフトする傾向がある。

【0021】【理論値の計算式】

$$E_g = (1-x)3.40 + 1.95x - Bx(1-x)$$

波長 (nm) = 1240 / E<sub>g</sub>

E<sub>g</sub>: InGa<sub>1-x</sub>N 井戸層のバンドギャップエネルギー

x: In の組成比

3.40 (eV): GaN のバンドギャップエネルギー

1.95 (eV): InN のバンドギャップエネルギー

B: ボーイングパラメータを示し、1~6 eV とす

る。このようにボーイングパラメータが変動するのは、最近の研究では、SIMS 分析などから、従来は結晶に歪みがないと仮定して 1 eV とされていたが、In 組成比の割合や膜厚が薄い場合等により歪みの生じる程度が異なり、1 eV 以上となることが明らかとなってきたためである。

【0022】[p 型クラッド層 6] 本発明において、p 型クラッド層 6 としては、活性層 5 のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層 5 へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されないが、好ましくは、Al<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N (0 < d < 0.4、好ましくは 0.15 < d < 0.3) のものが挙げられる。p 型クラッド層が、このような AlGa<sub>1-x</sub>N からなると、活性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。p 型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは 0.01~0.15 μm であり、より好ましくは 0.04~0.08 μm である。p 型クラッド層の p 型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは 1×10<sup>18</sup>~1×10<sup>21</sup>/cm<sup>3</sup> であり、より好ましくは 1×10<sup>19</sup>~5×10<sup>20</sup>/cm<sup>3</sup> である。p 型不純物濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低下させる点で好ましい。

【0023】p 型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層 (超格子構造を含む) とすることもできる。多層膜層の場合は、上記の Al<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、n 型クラッド層の場合と同様に、In<sub>h</sub>Ga<sub>1-h</sub>N (0 ≤ h < 1)、Al<sub>e</sub>Ga<sub>1-e</sub>N (0 ≤ e < 1、e > j) が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が 100 オングストローム以下、好ましくは 70 オングストローム以下、より好ましくは 10~40 オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。また、p 型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方に p 型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0024】[p 型コンタクト層 7] 上記の p 型不純物

含有の AlGa<sub>1-x</sub>N を含んでなる窒化物半導体である。

【0025】また、本発明において、p 電極及び n 電極は、種々のものを用いることができ、公知の電極材料等から適宜選択して用いる。電極としての具体例は、後述の実施例に記載されているものが挙げられる。また、本発明は、素子構造の一実施の形態として図 1 を挙げて説明したが、発光ピーク波長が 370 nm 以下で、n 型コンタクト層及び p 型コンタクト層が共に特定の Al 組成比の AlGa<sub>1-x</sub>N であれば本発明の効果を得ることができ、図 1 以外に、静電耐圧、順方向電圧、寿命特性等の素子特性の向上のために、その他の層を形成してもよい。

【0026】また、本発明の素子は、p 側層を p 型化して低抵抗とするために、アニーリング処理を行っている。アニーリング処理としては、特許第 2540791 号に記載されているように、気相成長法により、p 型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体を成長させた後、実質的に水素を含まない雰囲気中、400℃以上の温度で熱処理を行い、p 型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体から水素を出すことにより p 型にする方法が挙げられる。

【0027】

【実施例】以下に、本発明の一実施の形態である実施例を挙げて本発明を更に詳細に説明する。しかし、本発明はこれに限定されない。

【0028】[実施例 1] 実施例 1 は、図 1 の窒化物半導体素子を作製する。

(基板 1) サファイア (C 面) よりなる基板 1 を、反応容器内において水素雰囲気中、1050℃で表面のクリーニングを行う。

【0029】(バッファ層 2) 続いて、水素雰囲気中、510℃で、アンモニアと TMG (トリメチルガリウム) を用い、基板 1 上に GaN よりなるバッファ層 2 を約 200 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0030】(n 型コンタクト層 3) 次に 1050℃で TMG、TMA (トリメチルアルミニウム)、アンモニア、シラン (SiH<sub>4</sub>) を用い、Si を 5×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup> ドープした n 型 Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N よりなる n 型コンタクト層 3 を 4 μm の膜厚で成長させる。

【0031】(n 型クラッド層 4) 次に 1050℃で TMG、TMA、アンモニア、シランを用い、Si を 5×10<sup>17</sup>/cm<sup>3</sup> ドープした n 型 Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N よりなる n 型クラッド層 4 を 400 オングストロームの膜厚で形成する。

【0032】(活性層 5) 次に窒素雰囲気中、700℃で TMI、TMG、アンモニアを用い、アンドープ InGa<sub>1-x</sub>N よりなる活性層を 55 オングストロームの膜厚で成長させる。In 組成比は、測定不可能な程度に微量 (ほとんどゼロ) である。

【0033】(p 型クラッド層 6) 次に水素雰囲気中、

【0030】TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{N}$ よりなるp型クラッド層6を600オングストロームの膜厚で成長させる。

【0034】(p型コンタクト層7) 続いて、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ で、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープした $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{N}$ よりなるp型コンタクト層7を0.12 $\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0035】成長終了後、窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700°Cでアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層7の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE (反応性イオンエッチング) 装置でp型コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn型コンタクト層3の表面を露出させる。

【0036】エッチング後、最上層にあるp型コンタクト層7のはば全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極8と、そのp電極8の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を0.2 $\mu\text{m}$ の膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させたn型コンタクト層3の表面にはWとAlを含むn電極9を形成する。最後にp電極8の表面を保護するために $\text{SiO}_2$ よりなる絶縁膜を形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350 $\mu\text{m}$ 角のLED素子とする。

【0037】このLED素子は順方向電圧20mAにお

いて、発光ピーク波長が370nmを示し、Vfは3.8V、出力は1.2mWである。実施例1のLEDの光取り出し効率は、従来のn型及びp型コンタクト層がAlを含んでいないものに対してほぼ1.5倍となる。

【0038】

【発明の効果】本発明は、上記のように、n型及びp型コンタクト層のAl組成比を特定してなる $\text{AlGaIn}$ とすることで、オーミック接触の低下やクラックの発生を考慮しつつ、自己吸収を防止して光取り出し効率を向上させ、370nm以下の発光出力の良好な窒化物半導体素子を提供することができる。更に本発明は、n型及びp型コンタクト層のMg濃度や、特定のクラッド層との組み合わせにより、さらに良好な効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態であるLEDの模式的断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・p型クラッド層
- 7・・・p型コンタクト層
- 8・・・p電極
- 9・・・n電極
- 10・・・パッド電極

【図1】

